

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**GALLIUM NITRIDE COMPOUND SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT**

Patent Number: JP6260680  
Publication date: 1994-09-16  
Inventor(s): NAKAMURA SHUJI; others: 01  
Applicant(s): NICHIA CHEM IND LTD  
Requested Patent: ☐ JP6260680  
Application Number: JP19930070873 19930305  
Priority Number(s):  
IPC Classification: H01L33/00  
EC Classification:  
Equivalents: JP2560963B2

---

**Abstract**

---

**PURPOSE:** To improve luminance and light emitting output of a light emitting element by using a p-n junction gallium nitride compound semiconductor.

**CONSTITUTION:** An n-type  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  (where X is set to a range of 0

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開 号

特開平6-260680

(43)公開日 平成6年(1994)9月16日

(51)Int.Cl.<sup>4</sup>

H 0 1 L 33/00

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

C 7376-4M

審査請求 未請求 請求項の数 1 F D (全 4 頁)

(21)出願番号 特願平5-70873

(22)出願日 平成5年(1993)3月5日

(71)出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72)発明者 中村 修二

徳島県阿南市上中町岡491番地100

日亜化学工業株式会社内

(72)発明者 岩佐 成人

徳島県阿南市上中町岡491番地100

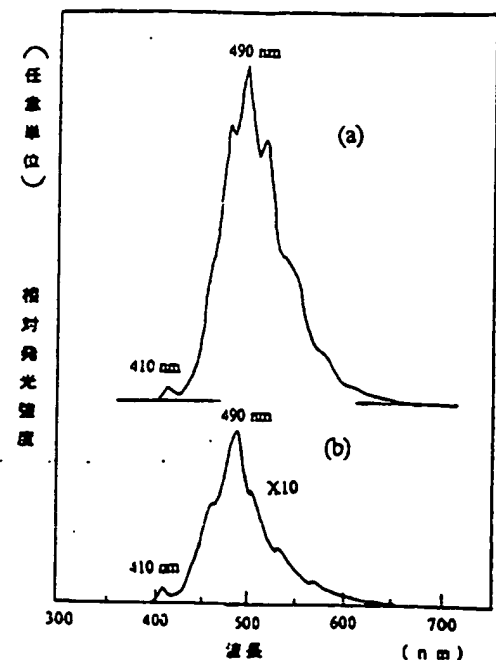
日亜化学工業株式会社内

(54)【発明の名称】 窒化ガリウム系化合物半導体発光素子

(57)【要約】

【目的】 p-n接合の窒化ガリウム系化合物半導体を用い、発光素子の輝度、および発光出力を向上させる。

【構成】 n型窒化ガリウム系化合物半導体層とp型窒化ガリウム系化合物半導体層との間に、SiおよびZnがドーピングされたn型 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  (但し、 $x$ は $0 < x < 1$ の範囲である。)を発光層として具備する。



R009838

1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 n型窒化ガリウム系化合物半導体層とp型窒化ガリウム系化合物半導体層との間に、SiおよびZnがドーピングされたn型 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （但し、 $X$ は $0 < X < 1$ の範囲である。）を発光層として具備することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は窒化ガリウム系化合物半導体を用いた発光素子に関する。

【0002】

【従来の技術】  $\text{GaN}$ 、 $\text{GaAlN}$ 、 $\text{InGaN}$ 、 $\text{InAlGaN}$ 等の窒化ガリウム系化合物半導体は直接遷移を有し、バンドギャップが $1.95\text{eV} \sim 6\text{eV}$ まで変化するため、発光ダイオード、レーザダイオード等、発光素子の材料として有望視されている。現在、この材料を用いた発光素子には、n型窒化ガリウム系化合物半導体の上に、p型ドーパントをドーピングした高抵抗なi型の窒化ガリウム系化合物半導体を積層したいわゆるMIS構造の青色発光ダイオードが知られている。

【0003】 MIS構造の発光素子として、例えば特開平4-10665号公報、特開平4-10666号公報、特開平4-10667号公報において、n型 $\text{GaN}$ の上に、SiおよびZnをドーピングしたi型 $\text{GaN}$ を積層する技術が開示されている。これらの技術によると、Si、Znを $\text{GaN}$ にドーピングしてi型の発光層とすることにより発光素子の発光色が白色にすることができる。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上記技術のように、p型ドーパントであるZnをドーピングし、さらにn型ドーパントであるSiをドーピングした高抵抗なi型 $\text{GaN}$ 層を発光層とするMIS構造の発光素子は輝度、発光出力共に低く、発光素子として実用化するには未だ不十分であった。

【0005】 従って本発明はこのような事情を鑑みて成されたものであり、その目的とするところはp-n接合の窒化ガリウム系化合物半導体を用いて発光素子の輝度、および発光出力を向上させようとするものである。

【0006】

【課題を解決するための手段】 我々は、窒化ガリウム系化合物半導体の中でも特に $\text{InGaN}$ に着目し、 $\text{InGaN}$ にZnとSiをドーピングしても従来のように高抵抗なi型とせず、抵抗率 $10\Omega \cdot \text{cm}$ 以下の低抵抗なn型とし、このn型 $\text{InGaN}$ を発光層としたp-n接合のダブルヘテロ構造の発光素子を実現することにより上記課題を解決するに至った。即ち、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子はn型窒化ガリウム系化合物半導体層とp型窒化ガリウム系化合物半導体層との間に、SiおよびZnがドーピングされたn型 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （但

2

し、 $X$ は $0 < X < 1$ の範囲である。）を発光層として具備することを特徴とする。

【0007】 本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、n型およびp型窒化ガリウム系化合物半導体層とは $\text{GaN}$ 、 $\text{GaAlN}$ 、 $\text{InGaN}$ 、 $\text{InAlGaN}$ 等、窒化ガリウムを含む窒化ガリウム系化合物半導体に、n型であれば例えばSi、Ge、Se、Te等のn型ドーパントをドーピングして、n型特性を示すように成長した層をいい、p型であれば例えばZn、Mg、Cd、Be、Ca等のp型ドーパントをドーピングして、p型特性を示すように成長した層をいう。n型窒化ガリウム系化合物半導体の場合はノンドーピングでもn型になる性質がある。また、p型窒化ガリウム系化合物半導体層の場合、p型窒化ガリウム系化合物半導体層をさらに低抵抗化する手段として、我々が先に公開した特開平3-357046号に開示するアニーリング処理を行ってもよい。

【0008】 また、ZnおよびSiをドーピングしたn型 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ の $X$ 値は $0 < X < 0.5$ の範囲に調整することが好ましい。 $X$ 値を0より多くすることにより、発光色はおおよそ紫色領域となる。 $X$ 値を増加するに従い発光色は短波長側から長波長側に移行し、 $X$ 値が1付近で赤色にまで変化させることができる。しかしながら、 $X$ 値が0.5以上では結晶性に優れた $\text{InGaN}$ が得られにくく、発光効率に優れた発光素子が得られにくくなるため、 $X$ 値は0.5未満が好ましい。

【0009】 また、n型 $\text{InGaN}$ 中のZnおよびSiの濃度は両者とも $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ の範囲に調整することが好ましい。 $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ よりも少ないと十分な発光強度が得られにくく、 $1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$ よりも多いと、同じく発光強度が減少する傾向にある。さらに、Zn濃度よりもSi濃度の方を多くすることにより $\text{InGaN}$ を好ましくn型とすることができる。

【0010】

【作用】 図1に、Znを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドーピングしたn型 $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層と、Znを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ およびSiを $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドーピングしたn型 $\text{In}_{0.15}\text{Ga}_{0.85}\text{N}$ 層とにHe-Cdレーザを照射して、室温でフォトルミネッセンス(PL)を測定し、それらの発光強度を比較して示す。なお、Znのみをドーピングした $\text{InGaN}$ 層のスペクトル強度は実際の強度を10倍に拡大して示している。この図に示すように、Znのみをドーピングしたn型 $\text{InGaN}$ のPLスペクトル(b)、SiおよびZnをドーピングしたn型 $\text{InGaN}$ のPLスペクトル(a)はいずれも490nmにその主発光ピークを有する。しかしながら、その発光強度は(a)の方が10倍以上大きい。これは、Znをドーピングした $\text{InGaN}$ に、さらにSiをドーピングすることによりドナー濃度が増え、ドナー・アクセプタのペア発光により発光強度が増大し

3

ていると推察される。なぜなら、ノンドープのInGa  
Nは成長条件により電子キャリア濃度が、およそ $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{22}/\text{cm}^3$ ぐらいのn型を示す。これは、ある程度の数のドナーがノンドープの状態のInGa  
N中に残留していることを示している。そこで、この  
ノンドープのInGa NにZnをドーピングすると、前記残  
留ドナーと、ドーピングしたZnアクセプターとのドナー・  
アクセプターのペア発光が青色発光となって現れる。し  
かしながら、前記のように、残留ドナーによる電子キャ  
リア濃度は $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{22}/\text{cm}^3$ ぐらいまで成  
長条件によりばらつき、再現性よく一定のドナー濃度の  
InGa Nを得ることは困難であった。そこで、新たに  
Siをドーピングしてこのドナー濃度を多くすると共に、安  
定して再現性よく一定のドナー濃度を得るのが、Siド  
ープの効果である。実際、Siをドーピングすることによ  
り、電子キャリア濃度がおよそ $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のものが  
 $2 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ まで1桁増加し、ドナー濃度が増加  
していることが判明した。従って、ドナーが増加した分  
だけドーピングするZnの量を増やすことができ、ドナー・  
アクセプターのペア発光の数が増加することにより青色発  
光強度が増大すると推察される。

[0011] 本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発  
光素子は、このSiとZnをドーピングしたn型InGa Nを  
発光層としたダブルヘテロ構造とすることにより、従来の  
SiとZnをドーピングしたi型GaAlNを発光層とする  
MIS構造の発光素子に比して発光効率、および発光  
強度を格段に向上させることができる。

[0012]

[実施例] 以下有機金属気相成長法により、本発明の発  
光素子を製造する方法を述べる。

[0013] [実施例1] よく洗浄したサファイア基板  
を反応容器内にセットし、反応容器内を水素で十分置換  
した後、水素を流しながら、基板の温度を $1050^\circ\text{C}$ まで  
上昇させサファイア基板のクリーニングを行う。

[0014] 続いて、温度を $510^\circ\text{C}$ まで下げ、キャリ  
アガスとして水素、原料ガスとしてアンモニアとTMG  
(トリメチルガリウム)を用い、サファイア基板上に  
Ga Nよりなるバッファ層を約200オングストローム  
の膜厚で成長させる。

[0015] バッファ層成長後、TMGのみ止めて、温  
度を $1030^\circ\text{C}$ まで上昇させる。 $1030^\circ\text{C}$ になっ  
たら、同じく原料ガスにTMGとアンモニアガス、ドーパ  
ントガスにシランガスを用い、Siを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$   
ドーピングしたn型Ga N層を $4 \mu\text{m}$ 成長させる。

[0016] n型Ga N層成長後、原料ガス、ドーパ  
ントガスを止め、温度を $800^\circ\text{C}$ にして、キャリアガスを  
窒素に切り替え、原料ガスとしてTMGとTMI (トリ  
メチルインジウム)とアンモニア、ドーパントガスとし  
てシランガスとDEZ (ジエチルジシラン)を用い、S  
iを $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 、Znを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーピ

4

したn型In $0.15\text{Ga}0.85\text{N}$ 層を100オングストローム  
成長させる。

[0017] 次に、原料ガス、ドーパントガスを止め、  
再び温度を $1020^\circ\text{C}$ まで上昇させ、原料ガスとしてT  
MGとアンモニア、ドーパントガスとしてCp $2\text{Mg}$   
(シクロペンタジエニルマグネシウム)とを用い、Mg  
を $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドーピングしたp型Ga N層を $0.8 \mu\text{m}$   
成長させる。

[0018] p型Ga N層成長後、基板を反応容器から  
取り出し、アニーリング装置にて窒素雰囲気中、 $700^\circ\text{C}$   
で20分間アニーリングを行い、最上層のp型Ga N  
層をさらに低抵抗化する。

[0019] 以上のようにして得られたウエハのp型  
Ga N層、およびn型In $0.15\text{Ga}0.85\text{N}$ 層の一部をエ  
ッチングにより取り除き、n型Ga N層を露出させ、p  
型Ga N層と、n型Ga N層とにオーミック電極を設  
け、 $500 \mu\text{m}$ 角のチップにカットした後、常法に従い  
発光ダイオードとしたところ、発光出力は20mAにお  
いて $300 \mu\text{W}$ 、輝度 $900 \text{mcd}$ (ミリカンデラ)、  
発光波長 $490 \text{nm}$ であった。

[0020] [実施例2] 実施例1において、n型In  
 $0.15\text{Ga}0.85\text{N}$ 層のSi濃度を $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ 、Zn  
濃度を $5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ とする他は、同様にして青色発  
光ダイオードを得たところ、20mAにおいて発光出力  
 $300 \mu\text{W}$ 、輝度 $920 \text{mcd}$ 、発光波長 $490 \text{nm}$ で  
あった。

[0021] [実施例3] 実施例1において、n型In  
 $0.15\text{Ga}0.85\text{N}$ 層のSi濃度を $5 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ 、Zn  
濃度を $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ とする他は、同様にして青色発  
光ダイオードを得たところ、20mAにおいて発光出力  
 $280 \mu\text{W}$ 、輝度 $850 \text{mcd}$ 、発光波長 $490 \text{nm}$ で  
あった。

[0022] [実施例4] 実施例1において、n型In  
Ga NのInのモル比をIn $0.25\text{Ga}0.75\text{N}$ とする他  
は、同様にして青色発光ダイオードを得たところ、20  
mAにおいて発光出力 $250 \mu\text{W}$ 、輝度 $1000 \text{mcd}$   
、発光波長 $510 \text{nm}$ であった。

[0023] [比較例1] 実施例1において、Siをド  
ープせず、Zn濃度 $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のZnドーピング  
したn型In $0.15\text{Ga}0.85\text{N}$ を成長させる他は同様にして発光ダイ  
オードとしたところ、20mAにおいて、発光出力 $180$   
 $\mu\text{W}$ 、輝度 $400 \text{mcd}$ でしかなく、発光波長は $490$   
 $\text{nm}$ であった。

[0024] [比較例2] 実施例1のSi、Znドー  
ピングしたn型In $0.15\text{Ga}0.85\text{N}$ 層を成長させる工程において、  
原料ガスにTMG、アンモニア、ドーパントガスにシラ  
ンガス、DEZを用いて、Siを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ とZ  
nを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドーピングしたi型Ga N層を成長さ  
せる。i型Ga N層成長後、同様にしてi型Ga N層の  
一部をエッチングし、n型Ga N層を露出させ、n型G

5

a N層とi型Ga N層とに電極を設けて、MIS構造の発光ダイオードとて、発光出力は20mAにおいて1 $\mu$ W、輝度0.1mcdしかなかった。

【0025】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子は、SiおよびZnをドープしたn型InGa Nを発光層とするダブルヘテロ構造としているため、従来のMIS構造の発光素子に比して、格段に発光効率、発光強度が増大する。しかも、主

6

発光波長はInGa N中のInのモル比を変えることによって赤色から紫色まで自由に調節することができ、その産業上の利用価値は大きい。

【0026】

【図面の簡単な説明】

【図1】 ZnのみをドープしたInGa N層(b)と、ZnおよびSiをドープしたInGa N層(a)との室温でのフォトルミネッセンス強度を比較して示す図。

【図1】

